

郜怀龙. 基于虚拟三维建模的土方计算方法[J]. 华南地震, 2019, 39(S1): 46–49. [GAO huailong. Earthwork Calculation Method Based on Virtual Three-dimensional Model [J]. South China journal of seismology, 2019, 39(S1) 46–49]

基于虚拟三维建模的土方计算方法

郜怀龙

(广东省地震工程勘测中心, 广州 510070)

摘要: 为了解决包含了斜坡、弧度在内的基准面土方计算, 提出了基于设计面建立虚拟三维模型进行土方计算的新方法, 在采用设计图纸的图形和标高的基础上, 通过南方 CASS 构建基于设计面的虚拟三维模型, 以更直观、精准的模拟设计面元, 并利用四个以上同名点与实地模型(Digital Terrain Model, DTM)嵌套, 以提高模型计算精度。通过实例测量计算, 对该方法的可行性进行研究, 并对计算结果的精度与传统方法进行了对比。

关键词: 虚拟三维建模; DTM; TIN; 三维嵌套

中图分类号: TU751

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2019)S1-0046-04

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.S1.008

Earthwork Calculation Method Based on Virtual Three-dimensional Model

GAO huailong

(Guangdong Earthquake Engineering Survey Center, Guangzhong 510070, China)

Abstract: In order to solve the earthwork calculation of datum surface including slope and radians, this paper proposes a new method for earthwork calculation based on design surface to establish virtual three-dimensional model. Based on the graphics and elevation of design drawings, it is constructed by Southern CASS. Based on the virtual 3D model of the design surface, the panel is designed with more intuitive and accurate simulation, and more than four points with the same name and the Digital Terrain Model (DTM) are used to improve the calculation accuracy of the model. In this paper, the feasibility of the method is studied by the example measurement calculation, and the accuracy of the calculation results is compared with the traditional method.

Keywords: Virtual three-dimensional modeling; DTM; TIN; 3D nesting

收稿日期: 2019-02-26

作者简介: 郜怀龙(1988-), 男, 工程师, 主要从事测绘工程工作。

E-mail: 78061889@qq.com.

0 前言

现阶段土石方测算中,较为常用的方法有:DTM法、方格网法、断面法、区域土石方量平衡法、等高线法,这些方法主要是通过测量仪器实地采集离散数据,以dat数据格式导入南方CASS生成原始地表模型,再利用设计标高计算土石方量,但在大型的水库、大坝建设中开挖面复杂特殊,包含了斜坡、弧度等不规则的开挖面,传统方法不能进行有效的计算,并且计算结果精度低、过程抽象繁琐、容易出错,为此,通过建立等比例真实坐标框架下的虚拟三维开挖面辅助计算土石方量,利用虚拟三维设计面模型高精度还原开挖后的实地形状^[1],与现状地表模型嵌套以计算填挖边界线、填挖土石方量,不仅使计算过程更为直观,计算结果的精度也有所提高。

1 虚拟三维建模基本理论

1.1 DTM的数学基础

数字地面模型(DTM)是地表二维空间位置和高程信息的数字化表达,可表示为: $D_i=F(X_i, Y_i, H_i)$, $i=1, 2, \dots, n$, 式中的 D_i 表示每一个特征点的三维坐标方位^[2],对于实地的地面模型(DTM)的建立,可以通过RTK、全站仪等获取特征数据,而非规则基准面模型的数据却无法通过测量仪器获得,因此,以设计图为基础模拟开挖后的基准面三维模型(virtual Digital Terrain Mode, VDTM),虚拟三维模型构建模式分为两种:基于不规则三角网的DTM(Triangle-Based DTM)(见图1)和基于规则格网的DTM(Grid-Based DTM)(见图2)。

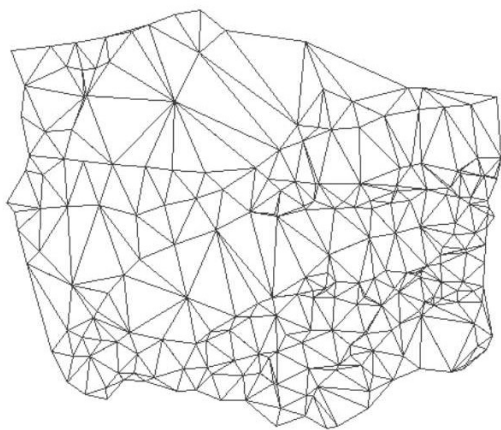


图1 不规则三角网数字地面模型

Fig.1 Irregular triangulation digital ground model

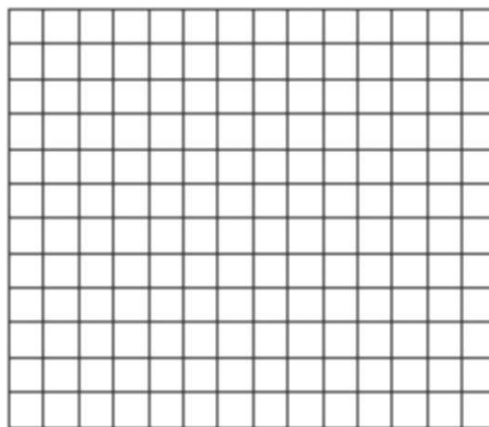


图2 规格方格网数字地面模型

Fig.2 Specification grid digital ground model

其中基于规则格网的DTM质量受格网间距和离散点密度影响较大,模拟设计基准面误差较大,基于不规则三角网的DTM容易受离散点质量影响,但经过浮动点的过滤后能更高质量的反映地形变化特征。

1.2 基于设计基准面的虚拟三维数据采集

设计基准面相对于地形现状存在滞后性,因此不能通过测量仪器获取地形特征数据,由于设计基准面本身的非解析性,试图用曲面拟合或某种数学形式来模拟设计基准面表面形状也难于实现,利用设计图提取作业范围内的基准面特征点,赋予每个特征点三维坐标,利用提取的特征点构建成一系列的互不交叉、互补重复的不规则三角网(TIN),构建的TIN具有矢量数据特性,可以通过节点(特征点)、公共边、三角形面表示离散点的空间关系和数学关系,但构建的三角形形状对整体TIN的质量影响较为明显,因此,尽量减少避免有钝角三角形出现。

1.3 三维建模数学基础

基于设计图提取的特征点会比较分散,数量较少,构建的TIN会出现大面积留白区域,因此利用线性内插方法,即通过三点所组成的三角形面内插加密点,解算出加密点的三维坐标,见图3,若确定了某点的平面坐标 $P(x, y)$ 则可以利用构建的TIN内插出该点的高程,首先根据 $P(x, y)$ 确定位于的三角形位置,将该三角形中的点 $P_i(x_i, y_i)$ 逐一计算与 P 点距离的平方: $d_i^2=(x-x_i)^2+(y-y_i)^2$ 取距离最小的点,内插点 P 符合共线方程式: $x=A_1+B_1z+C_1=0$ 通过三角形3个顶点的坐标可解算 A, B, C_3

个待求系数, 将解算出的系数带入 $x=A_1+B_2+C=0$ 公式, 就可以求解三角形内的任意一点 (x,y) 的 z 值。图 3 为线性内插, 属于简单的一次单项式内插, 只能保证在边界处是连续的, 但不能保证光滑, 若线性内插在边界处是非光滑的, 则需要用到高幂次多项式内插:

$$z(x,y) = \sum_{k=0}^s \sum_{i=1}^k c_m x^{k-i} y^i$$

该种内插方法与线性内插相似, 基于表面模型是连续和光滑的, 从数学角度理解, 由于高幂次多项式在内查时考虑到邻域三角形的几何特性, 则垂直于每一个三角形的法线是连续变化的, 邻域三角形边线上的法线无断裂, 内插的表面是光滑的, 如图 4、图 5。

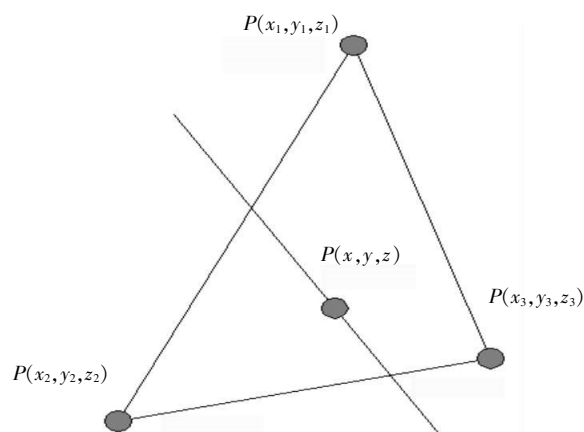


图 3 三角形内插共面条件

Fig.3 Triangle interpolation coplanar conditions

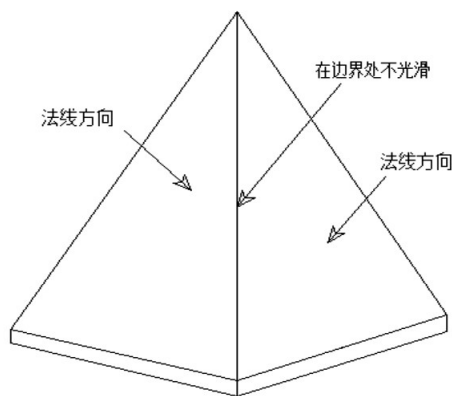


图 4 线性内插在边界处的非光滑性

Fig.4 Non-smoothness of linear interpolation at the boundary

基于设计图所提取的特征点作为已知数据, 根据 Delaunay 三角网理论, 采用高幂次多项式线性内插算法, 将加密点逐一插入, 这些点将重新构成三角网^[9], 以反映未能从设计图提取的特征地形, 从而构建出与设计图高度相似的虚拟三维模型, 并最终这些构基准面形状的离散点的位置和高程按一定的顺序保存成南方 CASS 中的 DAT 文件, 该种方式不仅能够等比例的高度还原最终设计基准面形状, 其在储存方面数据冗余量小, 结构简单, 计算效率高。

通过 union 和 extrude 命令将虚拟三维模型建立成基于基准面的实体模型, 使用 intersect 命令解算与原始地面模型的交集, 可获得挖方实体模型, 利用 subtract 命令解算与原始地形的差集, 可获得填方实体模型, 利用 massprop 命令查询实体的相关属性 (体积、质量、质心、边界框), 以此来计

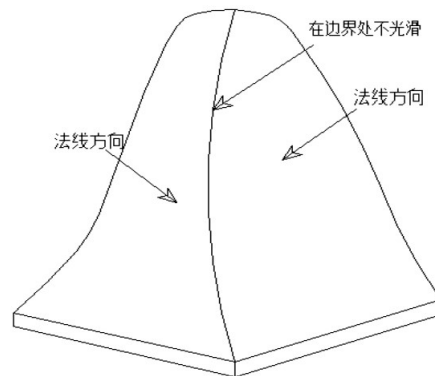


图 5 高幂次内插在边界处的光滑特性

Fig.5 Smoothness of high power interpolation at the boundary

算填挖方量^[4], 过程简单直观, 可以快速准确得到结果, 同时可用二维和三维直观表示填挖范围线, 极大提高工作效率。

2 基于虚拟三维建模的土方计算实例

2.1 项目概况

本文通过对米脂水泥库土方量计算, 并对计算结果进行了精度对比, 本项目位于陕西省榆林市米脂县, 是米脂县石灰熟料库, 该项目地处西、南侧地势高, 东北侧为山谷的山体中, 借助于山体走势在东西侧建立 75 m 高坝体, 最终建成三角形坑状储存库如图 6, 由于设计的基准面包括了外平台的平面, 坝体的斜坡面, 库角的弧面, 对于土方计算带来了一定的难度, 传统的土方计算方法不易实现, 若采用方格网、断面法则需要分块

计算,操作复杂、精度不能保证,为此采用了虚拟三维建模方法进行计算:工程初期首先对实际地形测量,利用采集的数据构建不规则 TIN 模型,然后通过设计图提取基准面的特征点,利用线性内插法对特征点进行加密,最终构建出基于设计图的虚拟三维面如图 7,通过 CAD 三维模块功能,选择低于最低基准面的参考面作为建模底面,分别对实地的 TIN 和虚拟的 TIN 建立立体模型,利用交集、差集计算填挖方量。

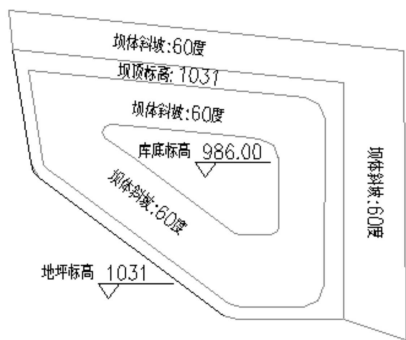


图 6 水泥库基准面设计图
Fig.6 Cement base datum design

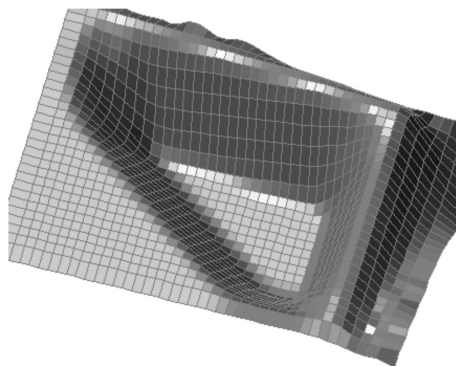


图 7 基准面的虚拟三维面
Fig.7 Virtual 3D surface of the datum

2.2 土方计算结果分析

分别采用方格网法、断面法、DTM 法,以不同的采样间距计算土方量,见表 1,并将挖方量计算结果进行对比,对精度进行分析^[5],见表 2。

表 1 方格网、断面法、虚拟三维建模法的计算结果
Table 1 Calculation results of square grid, section method, virtual three-dimensional modeling method

| 计算方法采样间距/m | 方格网法 | 断面法 | 虚拟三维建模法 |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| 2.5 | 147 490.7 | 148 093.7 | 146 326.2 |
| 5 | 146 695.4 | 147 297.4 | 145 782.9 |
| 10 | 144 620.7 | 144 620.7 | 144 620.7 |
| 15 | 142 659.5 | 142 060.5 | 143 429.5 |
| 20 | 141 990.3 | 140 082.3 | 142 916.9 |

表 2 方格网、断面法、虚拟三维建模法的最或似值和计算中误差

Fig.2 The most or similar value and calculation error based on square grid, section method, virtual 3D modeling method

| 计算方法 | 最或似值 | 计算中误差/(m ³) |
|---------|------------|-------------------------|
| 方格网法 | 143 971.32 | 2 956.3 |
| 断面法 | 141 430.92 | 2 598.8 |
| 虚拟三维建模法 | 144 615.24 | 1 310.1 |

通过对计算结果的对比,断面法土石方计算最或似值误差最大,精度较低;方格网法计算结果与虚拟三维建模法相近,但中误差较大,计算结果数值比较分散,受采样间距影响较大;虚拟三维建模法计算结果精度较高,中误差较小,受采样间距影响较小。

3 结语

本文提出了基于设计图构建虚拟三维模型,通过与原始地形嵌套来计算土石方量的方法,文中介绍了该方法的工作原理,并以米脂水泥库为例,通过该方法对土方进行计算,并与传统方法对比,证明了方法的可行性,实践表明:相对于传统的土方算法虚拟三维建模方法计算精度高,受采样间距影响小,适用范围广,计算过程更为直观。通过对该方法原理的讲解及工作过程的叙述,对地形复杂或设计基准面复杂的土方计算工作提供一种新的计算思路,以便土方测绘者参考。

参考文献:

[1] 李翔,王金安,张少杰. 复杂地质体三维数值建模方法研究[J]. 西安科技大学学报,2012,32(6):68-70.
[2] 钟剑龙,花向红,陈华安. TIN DEM 线性内插不确定性的随机过程模型[J]. 武汉大学学报,2010,24(2):143-144.
[3] 付韶平,郭先春,邹时林. 基于 DEM 的三维地质建模方法描述与土方量的计算[J]. 工程技术,2017,12(1):168-169.
[4] 周乐韬,范东明,张献州,等. AutoCAD 地形建模及其在土方中的应用[J]. 四川测绘,2015,26(3):126-127.
[5] 吴伟理,杨丽敏. 土方量的计算方法与精度分析[J]. 浙江测绘,2017,13(2):124-125.